LA POLLUTION DES REJETS URBAINS PAR TEMPS DE PLUIE : QUANTITE, ORIGINE ET NATURE

Président de séance : M Michel DESBORDES, Professeur à l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier (Université des Sciences et Techniques du Languedoc)

EXPOSE INTRODUCTIF

A. BACHOC *, J.P. TABUCHI **, G. CHEBBO ***, J.P. PHILIPPE ****

* CERGRENE (ENPC/ENGREF) — IMFT, Avenue du Professeur Camille Soula — 31400 Toulouse

** Agence de l'Eau Seine-Normandie, 51, rue Salvador Allende — 92027 Nanterre Cedex

*** CERGRENE (ENPC/ENGREF), La Courtine — 93167 Noisy-le-Grand Cedex

**** Direction Régionale de l'Environnement d'Ile-de-France, 21, rue Miollis — 75732 PARIS Cedex 15

1. LE SUBSTRAT HISTORIQUE ET LE CONTENU DE CE RAPPORT INTRODUCTIF

Les eaux de ruissellement sur les toits et les voiries des villes ont été reconnues comme très polluées dès 1888, au Congrès International d'Hygiène de Vienne, par DURAND-CLAYE, le père de la Loi de 1894 sur le tout-à-l'égout [DESBORDES M., HEMAIN J.C., 1990].

Cette réalité fut mise entre parenthèses durant la période de forte promotion des réseaux séparatifs (qui ne sont pas pour autant des systèmes à bannir). Elle a réémergé dans les milieux scientifiques et techniques à partir de la fin des années 1960, en particulier aux USA, puis elle a été diffusée dès le début des années 1970, notamment par les publications de l'EPA, Agence fédérale américaine pour la Protection de l'Environnement.

Elle a donné lieu, en France, à des mesures dès 1972 à Livry-Gargan (bureau d'études COYNE-et-BELLIER — DDE de Seine-Saint-Denis), puis sur d'autres sites où d'autres opérateurs ont aussi joué un rôle majeur (Laboratoire Régional des Ponts-et-Chaussées de l'Ouest-Parisien [PHILIPPE J.P. et al., 1987], Service Technique de l'Urbanisme, Agence de Bassin Seine-Normandie,...). Notamment une campagne sur 4 bassins versants expérimentaux [DEUTSCH J.C. et al., 1982] a permis de constituer des séries de mesure de grande qualité et de fonder des travaux de modélisation [HEMAIN J.C., 1987], [SERVAT E., 1987], [BUJON G., 1988].

Les constats dressés en Seine-Saint-Denis au milieu des années 1980 [PAITRY A., 1986] [CHOPARD P., et PAITRY A., 1986] sur la bonne décantabilité de cette pollution ont orienté vers des travaux de caractérisation physico-chimique [CHEBBO G., 1992], [VIGNOLES M., 1991] menés depuis 5 ans.

Tout ceci a permis de constituer une première base de connaissances que nous présentons, synthétiquement, dans les 3 chapitres consacrés respectivement :

— aux flux polluants véhiculés dans ces rejets, et à leur comparaison avec les autres apports perturbateurs des milieux récepteurs,

— à la spécificité de cette pollution, notamment aux caractéristiques des solides qui en sont le principal vecteur,

— à la description des processus de formation et de transfert de cette pollution, ainsi qu'à leur modélisation.

En conclusion, nous indiquons comment les communications de cette session peuvent :

— confirmer et préciser ces premiers éléments, notamment sur les flux et leur modélisation,

— ouvrir des voies nouvelles, notamment pour les mesures et la modélisation.

2. LES FLUX POLLUANTS DES REJETS URBAINS PAR TEMPS DE PLUIE — EVALUATION ET COMPARAISON

2.1. RATIOS DE FLUX

La question de l'importance de la pollution urbaine par temps de pluie par rapport aux autres formes de pollution peut être abordée de différentes manières. Pour procéder à des comparaisons ayant un sens, il faut considérer deux aspects : la nature de la pollution et la durée sur laquelle porte la comparaison.

La nature de la pollution a son importance selon qu'elle est à effet immédiat ou de type cumulatif. Pour la pollution à effet immédiat on s'intéressera aux charges de polluants par événement alors que pour la pollution cumulative on s'intéressera aux charges annuelles. De ce fait, il faut donc faire attention aux bases de temps prises pour les comparaisons.

Pour illustrer cela, le tableau n° 2.1 tiré d'une étude de [COTTET J., 1980] d'après des mesures faites sur des réseaux séparatifs donne un aperçu de l'influence du choix de la base de temps prise pour la comparaison. Les chiffres donnés dans ce tableau sont susceptibles d'être sensiblement différents sur d'autres sites.

Tableau 2.1 : Comparaison entre les charges apportées par les eaux usées et les eaux de ruissellement.

	Base annuelle	Base journalière	Base horaire
MES	ER = EU / 2	ER = EU / 2	ER = 50 X EU
DBO5	ER = EU / 27	ER = EU / 6	ER = 4 X EU
DCO	ER = EU / 9	ER = EU / 2	ER = 12 X EU
NTK	ER = EU / 27	ER = EU / 7	ER = 3,5 X EU
Pt	ER = EU / 27	ER = EU / 10	ER = 2,5 X EU
METEAUX LOURDS			
Pb	ER = 27 X EU	ER = 80 X EU	ER = 2000 X EU
Zn	ER = EU	ER = 4 X EU	ER = 100 X EU
Cu	ER = EU / 4,5	ER = EU / 2	ER = 15 X EU
Cr	ER = EU / 4	ER = EU / 1,5	ER = 16 X EU
Hg	ER = EU	ER = 7 X EU	
Cd	ER = EU	ER = 5 X EU	

EU : charge des eaux usées
ER : charge des eaux de ruissellement

Tableau 2.2 : Comparaison théorique des rejets annuels et quotidiens (24 h eaux usées contre pluie forte) pour différents systèmes de collecte.

	Rejets stations d'épuration			Surverses unitaires			Eaux pluviales		
	Concentration moyenne	Flux annuel	Flux journalier	Concentration moyenne	Flux annuel	Flux pour une pluie forte	Concentration moyenne	Flux annuel	Flux pour une pluie forte
MES	20 à 30 mg/l	10 à 17 tonnes	25 à 50 kg	200 à 1000 mg/l	40 à 200 tonnes	270 à 800 kg	100 à 1000 mg/l	25 à 100 tonnes	170 à 700 kg
DBO ₅	20 à 30 mg/l	10 à 17 tonnes	25 à 50 kg	70 à 150 mg/l	15 à 30 tonnes	100 à 300 kg	10 à 100 mg/l	2,5 à 10 tonnes	17 à 170 kg
DCO	60 à 90 mg/l	35 à 50 tonnes	100 à 140 kg	200 à 600 mg/l	40 à 130 tonnes	270 à 1300 kg	50 à 600 mg/l	10 à 50 tonnes	70 à 350 kg

2.2. COMPARAISON DES FLUX REJETES DE TEMPS DE PLUIE A CEUX DES EAUX DE TEMPS SEC, BRUTES OU TRAITEES, D'UNE STATION D'EPURATION

Pour illustrer cette comparaison, deux exemples ont été choisis. Le premier porte sur un cas théorique et le second sur un cas réel [TRABUC P., et al, 1989].

Le cas théorique correspond à une ville de 10.000 habitants (voir tableau 2.2)..

Cet exemple donne plutôt des ordres de grandeurs. Il met en évidence le fait que les flux déversés annuellement tant par la station que par les RUTP (Rejets Urbains par Temps de Pluie) sont du même ordre de grandeur. Le même type d'évaluation montre, par contre, à l'échelle d'un événement, que la pollution apportée par les RUTP excède largement les flux polluants rejetés par la station d'épuration et sont voisins de la pollution brute de temps sec en un jour.

Le cas réel (voir tab. 2.3) correspond à une exploitation des données de mesure faites par le SIAAP sur déversoir de Clichy qui est l'un des plus importants en région parisienne, à l'aval de 4.700 ha imperméabilisés. 18 événements pluvieux ont été analysés. A partir de ces mesures, nous avons pris l'option de calculer une moyenne pondérée en éliminant les événements exceptionnellement forts ou faibles. Pour la pollution de temps sec, il s'agit de données utilisées pour le calcul de la prime de la station d'épuration d'Achères sauf pour les métaux lourds.

Les données présentées ici qui concernent les métaux lourds proviennent d'une étude faite pour le compte de l'Agence de l'eau Seine-Normandie sur l'impact de la convention Mer du Nord. Dans cette étude, différentes estimations des flux en micropolluants ont été faites. Afin de pouvoir rendre les chiffres comparables, ils ont été ramenés à l'unité de surface imperméabilisée.

Les résultats ainsi obtenus montrent que pour chaque événement, la pollution produite par les RUTP est, sauf pour les MES qui représentent le double, du même ordre de grandeur que la pollution des eaux brutes de temps sec. En ce qui concerne les métaux lourds, la charge annuelle déversée par temps de pluie est du même ordre de grandeur que la pollution brute de temps sec, sauf pour le Zinc (les valeurs de temps sec, par les autres, paraissent d'ailleurs plus fortes ici qu'ailleurs). Les teneurs en Plomb iront en diminuant (extension de l'utilisation de l'essence sans Plomb) alors que les apports de Zinc, essentiellement liés au temps de pluie, risquent de se maintenir.

2.3. COMPARAISON AVEC LES REJETS DE ZONES AGRICOLES PAR TEMPS DE PLUIE

On peut procéder à une comparaison similaire avec la pollution

agricole (voir tab. 2.4). Dans ce cas, le problème se pose un peu différemment. En effet, on observe que les charges spécifiques sont élevées pour les RUTP. Toutefois les surfaces concernées par les pollutions agricoles sont tellement plus importantes que l'impact en nutriments par les RUTP est globalement négligeable.

2.4. NORMES ET CHIFFRES DE REFERENCE

Les tableaux 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 donnent quelques valeurs de référence à des fins de comparaison.

3. SPECIFICITES DE LA POLLUTION DES REJETS URBAINS PAR TEMPS DE PLUIE

L'essentiel des résultats présentés dans ce paragraphe sont issus d'une campagne nationale de mesures menée entre 1987 et 1992 sous l'égide de l'Association Générale des Hygiénistes et des Techniciens Municipaux (AGHTM) [CHEBBO G., 1992].

3.1. POLLUTION PARTICULAIRE ET POLLUTION DISSOUE

Le tableau 3.1 [CHEBBO G., 1992] montre la répartition entre fraction de la pollution pluviale fixée sur les solides (taille supérieure à 0,45 µm) et fraction dissoute, à l'aval d'un réseau pluvial, dans un collecteur unitaire et dans des surverses d'unitaire.

Il apparaît clairement, sur les trois cas présentés, que la pollution est principalement fixée sur les solides (sauf peut-être pour l'Azote), même en ce qui concerne les Hydrocarbures. Ce résultat essentiel est encore plus vrai pour les micropolluants : 93 % des PCB, d'après MARSALEK [MARSALEK J., 1985], 90 % des HAPs, 97 % du Benzopyrène, 85 % du fluoranthène, d'après HERRMANN et KARI [HERRMANN R. et KARI F.G., 1990] sont fixés sur les particules en suspension.

Tableau 3.1 : Pollution particulaire (i.e. fixée sur les particules solides) en % de la pollution totale (particulaire + dissoute) sur 3 sites.

	paramètres de pollution						
	DCO	DBO ₅	NTK	HC	Pb	Zn	Cd
BEQUIGNEAUX (Pluvial)	84 - 89 %	77 - 95 %	57 - 82 %	86 %	79 - 96 %	99 %	99 %
LA MOLETTE (Surverses unitaires)	88 %	83 %	48 %	-	99 %	97 %	95 %
Collecteur 13 (unitaire)	83 - 92 %	91 %	70 - 80 %	82 - 99 %	> 99 %	-	-

Tableau 2.3 : Comparaison des flux polluants par unité de surface active pour l'agglomération parisienne.

Type de polluant	Pollution de temps de pluie		Pollution de temps sec des collectivités		
	(a) kg/ha imp/an	(b) kg/ha imp/j*	Pol. brute kg/ha imp/an	(c) Pol. brute kg/ha imp/j	(d) Rejet STEP kg/ha imp/j
MES	1500	49	7900	22	4,1
DBO5	456	15	6900	19	4,8
DCO	1590	53	13900	38	15
MO	840	28	6900	26	7,9
NTK	84	2,8	14000	3,8	3,4
Ptot	21	0,7	—	—	—
Cu	0.21	7.10 ⁻³	0,4	1.10 ⁻³	—
Pb	0.33	11.10 ⁻³	1	3.10 ⁻³	—
Zn	23	77.10 ⁻³	1,6	4.10 ⁻³	—

(a) calcul basé sur 30 jours de déversement par an

(b) par jour de pluie pour un déversement moyen

(c) calculé sur la base de 2.100.000 m³/j(d) calculé sur la base de 2.100.000 m³/j et des concentrations moyennes en sortie

Tableau 2.4 : Ratios de flux polluants annuels (en kg à l'hectare) des eaux ruissellant sur divers types de zones agricoles et urbaines.

	MES	Phosphore total	Azote total	Plomb	Cuivre	Zinc
Zone agricole						
Agriculture générale	3 à 5600	0.1 à 9.1	0.6 à 42	0.002 à 0.08	0.002 à 0.9	0.005 à 0.3
Céréale	20 à 5100	0.2 à 4.6	0.05 à 0.4	0.005 à 0.006	0.014 à 0.064	0.026 à 0.083
Pâturage	30 à 80	0.1 à 0.5	3.2 à 14	0.004 à 0.015	0.021 à 0.038	0.019 à 0.172
Forêt	1 à 820	0.02 à 0.37	1 à 6.3	0.01 à 0.03	0.02 à 0.03	0.01 à 0.03
Naturel	7 à 820	0.02 à 0.67	0.5 à 6	0.01 à 0.03	0.02 à 0.03	0.01 à 0.03
Zone urbaine						
Résidentielle	600 à 2300	0.4 à 1.3	5 à 7.3	0.06		0.02
Commerciale	50 à 800	0.1 à 0.9	1.9 à 11	0.17 à 1.1		0.25 à 0.43
Industrielle	50 à 1700	0.9 à 4.1	1.9 à 14	2.2 à 7		3.5 à 12

Il est donc indispensable de s'intéresser aux caractéristiques physiques des solides en suspension dans les rejets urbains par temps de pluie.

3.2. CARACTERISTIQUES DES SOLIDES DES REJETS URBAINS PAR TEMPS DE PLUIE

3.2.1. Granulométrie

Les principaux résultats du programme AGHTM concernant la granulométrie sont les suivants :

- les particules fines constituent la part principale des solides transférés (principalement en suspension pendant les épisodes pluvieux), dans les réseaux d'assainissement. Le diamètre médian est généralement compris entre 25 et 44 µm et le pourcentage en masse des particules inférieures à 100 µm est de l'ordre de 66 à 85 %. Ce point est important, car les procédés de nettoyage des chaussées par balayage sont souvent très peu efficaces contre les particules de taille inférieure à 100 µm ;
- les particules fines (diamètre < 100 µm) ont tendance à s'agglomérer. C'est ce que semblent indiquer, d'une part des mesures sur échantillons exposés ou non à des ultrasons, d'autre part la comparaison entre vitesses de chute mesurées

Tableau 2.5 : Quelques valeurs moyennes des concentrations élémentaires des roches, rivières, océans et végétaux terrestres [d'après Martin, M. Meybeck « Elemental mass-balance of material carried by world major rivers », Marine Chem., 7, 173-206, 1978].

Elément	CONTINENTS		RIVIERES		OCEANS		VEGE- TAUX
	Roches	Sols	Dissous	Particulaire	Eau	Sédiments	TERRES- TRES
	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}$
Cd	0.2	0.35	0.02	(1)	0.01	0.23	0.6
Cu	32	30	1.5	100	0.3	100	0.23
N		1000	375	1200			30000
Pb	16	35	0.1	100	0.003	200	2.7
Zn	127	90	30	250	0.1	120	100
Cinorg	18000			10000			
Corg	4000			10000			

Tableau 2.6 : Normes sur les teneurs à ne pas dépasser pour l'épandage agricole des boues de station d'épuration.

* recommandation du 07/07/1988 du ministère de l'Agriculture,

** norme NFU 44-041.

ELEMENT	CONCENTRATIONS LIMITES DES SOLS POUR RECEVOIR DES BOUES* mg/kg de terre	CONCENTRATION DES BOUES** mg/kg de matières sèches
Cadmium	2	20
Chrome	150	1000
Cuivre	100	1000
Mercure	1	10
Nickel	50	200
Plomb	100	800
Sélénium	10	100
Zinc	300	3000

et théoriques (formule de Stokes, qui lie la vitesse de chute de la particule à sa masse volumique et son rayon) ;

— les résultats des mesures granulométriques sont assez homogènes d'une ville à une autre et, pour une même ville, d'un site unitaire à un site séparatif ;

— les solides en dépôt dans les collecteurs visitables sont beaucoup plus grossiers que les solides transférés en suspension par temps de pluie ou par temps sec (cf. figure 3.1) ;

— les solides transférés en temps sec et ceux transités par temps de pluie ont des caractéristiques granulométriques très proches (cf. figure 3.1). Mais les mesures des masses volumiques et de vitesse de chute montrent qu'ils sont de nature différente.

3.2.2. Masses volumiques

Dans la plupart des cas, il y a décroissance des masses volu-

miques avec l'augmentation de la taille des particules. En temps de pluie, et pour des réseaux unitaires, les solides sont moins denses ($1,7 \text{ g/cm}^3$ à $2,2 \text{ g/cm}^3$) que ceux des réseaux séparatifs ($> 2,2 \text{ g/cm}^3$), ce qui révèle qu'il y a une forte contribution spécifique des dépôts en réseaux (et des eaux usées s'écoulant au moment du ruissellement) à la pollution véhiculée dans les collecteurs unitaires par temps de pluie. Cependant, pour un type donné de réseau (séparatif ou unitaire) la masse volumique des particules paraît homogène d'un site à un autre.

3.2.3. Teneurs en matières volatiles

Les teneurs en matières volatiles des solides, qui représentent assez bien les proportions de matière organique, se situent entre 10 et 36 % pour les réseaux pluviaux et entre 24 et 55 % pour les réseaux unitaires. Pour des teneurs en matières volatiles assez proches, les masses volumiques des solides sont moins importantes dans les réseaux unitaires que dans les réseaux séparatifs, ce qui peut dénoter une moins grande masse volumique des composants non-organiques.

Tableau 2.7 : Valeurs guides — d'après le décret 91.257 du 07/03/1991 du ministère de la Santé pour les eaux brutes avant traitement de potabilisation et pour les eaux potables.

PARAMETRE		EAUX BRUTES	EAUX POTABLES
pH		5.5 – 9	6.5 – 9
Chlorures	mg/l	200 (G)	200
Sulfates	mg/l	250	250
Nitrates	NO3 mg/l	50	50
Nitrites	NO2 mg/l		0.1
Ammonium	NH4 mg/l	4	0.5
Azote Kjeldhal	N mg/l	3 (G)	1
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés extractibles au CC14	µg/l	1000	10
Phénols	µg/l	100	0.5
Cuivre	mg/l		1
Zinc	mg/l		5
Phosphore	P2O5 mg/l		5
Cadmium	µg/l	5	5
Mercure	µg/l	1	1
Plomb	µg/l		50
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) Total 6 substances Benzo (3,4) pyrène	µg/l µg/l	1	0.2 0.01
Insecticides, herbicides et fongicides – par substances individualisées à l'exception de : aldrine et dieldrine Hexachlorobenzène – Totaux	µg/l µg/l µg/l µg/l		0.1 0.03 0.01 0.5
Coliformes totaux	37°C 100 ml	50 000 (G)	0 (95 % des échantillons conformes)

3.2.4. Vitesses de chute

Les vitesses de chute des particules transférées en suspension par temps de pluie sont en général très élevées (Vitesse de chute médiane V50, seuil tel que 50 % de la masse des particules chutent moins vite = 4 à 11 m/h), y compris pour les particules fines de taille inférieure à 50 µm (V50 = 0,7 à 6 m/h). Cette bonne décantabilité a été confirmée lors des mesures plus globales dans des cônes d'Imhoff, et à grande échelle à l'occasion de la décantation des eaux de pluie pendant quelques heures, dans des bassins de retenue. Pour l'ensemble des particules, V50 présente des variations faibles (d'un site à l'autre, d'une pluie à l'autre et suivant qu'il s'agit de réseau unitaire

ou séparatif) et se situe généralement entre 7 et 11 m/h. V90 tel que 90 % des particules chutent moins vite (correspondant donc à des rendements de décantation de 10 %), est plus faible en réseau unitaire (45 à 90 m/h) qu'en pluvial (50 à 120 m/h) tout en restant du même ordre de grandeur. Par contre, V10 (représentant des rendements de décantation de 90 %) est hautement variable. Ceci a de fortes implications : les valeurs de référence pour la conception de décanteurs destinés à la dépollution seront proches des indicateurs V10 ou V20, et l'amplitude de leurs variations se répercutera directement sur celles des dimensions à prévoir. Dans le tableau 3.2, nous résumons les plages de variation observées (lors de 9 pluies étudiées dans le cadre du programme AGHTM) pour les valeurs V20, V50 et V80.

Tableau 2.8 : Teneurs naturelles en métaux lourds des sédiments des cours d'eau sur le bassin Seine-Normandie [d'après l'étude Seine-Normandie : « Etude et exploitation critique de résultats d'analyses de métaux sur sédiments dans des zones exemptes de pollution industrielle ou d'activité humaine », Luc Peraira-Ramos 1988].

ELEMENTS	CONCENTRATION mg/kg de poids sec de sédiment
Fer	13 000
Arsenic	5
Chrome	25
Mercure	0.1
Sélénium	1
Manganèse	175
Cadmium	0.75
Cuivre	12.5
Plomb	30
Zinc	100

Tableau 3.2 : Vitesses de chute (en m/h) des solides des rejets urbains par temps de pluie.

Réseaux	V ₂₀ (m/h)	V ₅₀ (m/h)	V ₈₀ (m/h)
pluviaux	0.73 – 2.4	5.5 – 9.0	22 – 55
unitaires	0.06 – 1.3	3.7 – 11.0	23 – 53

Figure 3.1 : Granulométrie des solides en suspension et des solides des dépôts dans le collecteur 13 de Marseille [d'après CHEBBO G., 1992].

Tableau 3.3 : Abattement de la pollution par décantation (exprimé en % de la pollution totale).

Paramètres de pollution	MES	DCO	DBO ₅	NTK	HC	Pb	Zn	Cd
Abattement de la pollution	78-93	69-91	74-91	44-75	35-87	69-94	84-86	84-86

3.2.5. Dépollution par décantation

Le tableau 3.3 donne des valeurs d'efficacité de la décantation pendant quelques heures, en bassin de retenue [CHEBBO G., 1992]. Les abattements des charges polluantes peuvent être qualifiés de bons à excellents.

3.3. LES VOLUMES POLLUES

[CHEBBO G., 1992], [BACHOC A., MOUCHEL J.M., CHEBBO G., 1991]

Les débits d'eaux pluviales sont très vite sans commune mesure avec les débits d'eau usée dès que la pluie prend un minimum d'ampleur. Une pluie dont l'intensité reste faible (entre 5 et 10 mm/h) génère sur une ville théorique de 10.000 habitants et de 50 hectares imperméabilisés des débits de plusieurs centaines de litres par seconde, le débit moyen des eaux usées se situant à 15 l/s. Le rapport est de plusieurs dizaines. Cela montre qu'il n'est pas très facilement envisageable de créer des capacités de traitement au fil du débit, qui ne fonctionneraient de plus que quelques centaines d'heures par an.

Un espoir reste, cependant, de façon tenace. Et si seulement n'étaient notablement pollués que les « premiers flots » ? On pourrait alors stocker ceux-ci dans des capacités de volume assez réduit avant de les traiter, à plus faible débit, après la pluie.

Si tel était le cas, nous aurions sur la figure 3.2 une répartition suivant la courbe en pointillés (une courbe suivant la première diagonale traduisant, elle, une concentration constante tout au long de la crue). Comme on le voit ici pour le bassin versant expérimental strictement pluvial de Maurepas (28 ha, imper-

méabilisés à 60 %), de même que pour les autres où l'on dispose de mesures précises, ce n'est pas vraiment le cas. En fait, dans la plupart des cas, les concentrations restent élevées et supérieures à la moyenne du rejet jusqu'à ce que 40 à 50 % du volume en moyenne soit écoulé. On peut en déduire que l'efficacité d'interception des réservoirs conçus uniquement pour stocker les toutes premières eaux sera dans tous les cas très faible.

4. LES PROCESSUS DE FORMATION ET DE TRANSFERT DE LA POLLUTION, ET LEUR MODELISATION

4.1. LES ORIGINES

4.1.1. Pollution des eaux de pluie atteignant les surfaces urbaines

La pollution atmosphérique conditionne la formation de la pluie. Sans l'ensemencement créé par les poussières atmosphériques, les gouttelettes d'eau ne parviendraient pas à fusionner pour atteindre une masse suffisante et arriver jusqu'au sol.

Il est donc normal que — contrairement aux idées reçues — l'eau de pluie soit impure !

Jusqu'à un passé récent, l'alimentation de l'atmosphère terrestre en particules et en aérosols divers était le fruit de grandes causes naturelles : le vent, les incendies et les éruptions volcaniques. Depuis un siècle et demi, l'homme est venu assister Dame Nature dans cette tâche.

Figure 3.2 : Ensemble des courbes de Geiger obtenues sur Maurepas pour les MES.

De façon globale, on estime généralement que 15 à 25 % de la pollution contenue dans les eaux de ruissellement est directement imputable à la pollution de l'eau de pluie. Cette proportion peut même être plus forte pour certains produits, comme par exemple les sels ammoniacaux et les métaux lourds. De plus, le caractère très acide de certaines pluies ($\text{pH} < 4.5$) est susceptible d'augmenter leur agressivité vis-à-vis des matériaux sur lesquels elles ruissellent.

En ce qui concerne le niveau de concentration en hydrocarbures, il peut être élevé, pouvant atteindre des valeurs supérieures à 1 mg/l, mais les apports météoriques ne représentent qu'un assez faible pourcentage de la pollution après ruissellement.

Le tableau 4.1 suivant, proposé par [VALIRON F., TABUCHI J.P., 1992], fournit quelques fourchettes de concentrations pour plusieurs polluants.

Tableau 4.1 : Intervalle de variation de la concentration de quelques paramètres de pollution dans les eaux de pluie.

pH	4 à 7
DCO	20 à 30 mg/l
SO ₄	2 à 35 mg/l
Cu	0.5 à 2 mg/l
Na	0.5 à 2 mg/l
Zn	0.02 à 0.08 mg/l
Pb	0 à 0.15 mg/l

4.1.2. Dépôt et accumulation des polluants sur les surfaces urbaines pendant les périodes de temps sec

Les contaminants qui se déposent pendant les périodes de temps sec ont des origines multiples. Ils peuvent être endogènes, c'est-à-dire provenir de la ville elle-même, ou exogènes, et parcourir de très grandes distances avant de se déposer sur les sols urbains. De la même façon, les polluants produits par la ville peuvent s'en échapper et aller se déposer à des distances considérables. Par exemple, le Plomb, issu de la combustion de l'essence des véhicules, diffuse sur toute la planète et l'on en trouve des concentrations non négligeables jusque dans les glaces de l'arctique ou de l'antarctique.

Sauf cas exceptionnels où la pollution peut provenir de l'extérieur de la ville du fait des transports atmosphériques, il apparaît que le bilan entre les flux de polluants importés et les flux exportés est généralement favorable aux sources urbaines, dont on peut proposer la typologie suivante :

4.1.2.1. La circulation automobile

Les véhicules constituent l'une des sources directes principales pour un grand nombre de polluants. C'est le cas en particulier pour les Hydrocarbures (huiles et essence), le Plomb (essence), le caoutchouc (usure des pneumatiques), et différents métaux provenant de l'usure des pneus (Zinc, Cadmium, Cuivre) et des pièces métalliques (Titane, Chrome, Aluminium,...).

4.1.2.2. L'érosion des sols et les chantiers

L'érosion des sols en période de temps sec, soit par l'action du vent, soit par l'action mécanique des roues des véhicules constitue une source importante de matières en suspension. Cette pollution est généralement minérale et inerte ; elle peut cependant, dans certains cas, contenir des agents actifs (par exemple du goudron). Les masses accumulées peuvent être fortement augmentées par la présence de chantiers. La circulation automobile constitue donc une source indirecte par l'érosion des voiries qu'elle nécessite.

4.1.2.3. L'industrie

La part de l'industrie dans la pollution des sols urbains est bien évidemment variable. Elle dépend des types d'activité et de leur

situation par rapport à la ville. Notons, comme nous l'avons déjà souligné ci-avant, que les transports atmosphériques peuvent entraîner certains produits sur de très longues distances. L'origine industrielle est généralement citée pour les métaux (Plomb, Cadmium, Zinc), pour certains résidus pétroliers ainsi que pour de nombreux micro-polluants organiques (solvants en particulier).

4.1.2.4. Les déchets solides

Le terme générique « déchet » désigne tout ce que l'homme jette, volontairement ou involontairement, à la surface des sols et des rues. Ces déchets révèlent de multiples aspects. Les « pratiques de nettoyage » des rues étant plus ou moins efficaces, une partie est entraînée par les eaux de ruissellement. Plus graves sont, parfois, les rejets accidentels ou délibérés (huiles de vidange de moteurs, nettoyage de places de marchés,...) dans les réseaux d'assainissement pluvial ou unitaire.

4.1.2.5. Les animaux

Aux déchets vus ci-avant, il convient d'ajouter les déjections des animaux divers, qu'ils soient domestiques ou en liberté, dont la prolifération peut poser de sérieux problèmes (plusieurs millions de chiens et de chats vivent dans des foyers français).

4.1.2.6. La végétation

La végétation urbaine produit des masses importantes de matières carbonées, plus ou moins facilement biodégradables (en particulier feuilles mortes à l'automne, fleurs, graines, pollen, brindilles,...). Cette source de pollution est également à l'origine indirecte d'apports en Azote et en Phosphate (engrais), ainsi qu'en produits organo-chlorés (pesticides, herbicides).

4.1.3. Fonctions d'accumulation et d'entraînement des polluants avant entrée dans le réseau

Dès que la quantité d'eau précipitée à la surface du sol dépasse plusieurs dixièmes de millimètres, le ruissellement commence. A ce ruissellement sont associés des phénomènes d'érosion et d'entraînement des particules ainsi mobilisées.

L'aptitude de la pluie à éroder les sols non revêtus et à mobiliser les polluants accumulés sur les surfaces imperméables semblerait dépendre de sa granulométrie (taille et énergie cinétique des gouttes) et de son intensité instantanée sur des pas de temps très courts, l'essentiel des particules étant arrachées sous l'impact directs des gouttes de pluie. L'absence de mesures de telles intensités ou de spectres granulométriques associés à des mesures concomitantes de concentration des polluants dans les eaux de ruissellement rend cependant ces hypothèses incertaines.

Pour sa part, la capacité de la pluie à entraîner les polluants jusqu'au système souterrain d'assainissement dépend principalement des débits qu'elle est capable de générer, en particulier dans les caniveaux qui semblent fournir une part notable de la pollution déposée pendant la période de temps sec [ARTIERES O., 1987]. Au bout du compte, les deux paramètres pluviométriques principaux permettant d'expliquer les flux de polluants (ou du moins ceux qui sont le plus souvent cités !) sont la hauteur totale d'eau précipitée pendant la pluie et l'intensité maximale sur une durée courte (à défaut de mieux, de l'ordre de 5 à 6 minutes).

La plupart des modèles considèrent également que la masse de polluants mobilisable est finie. Pour représenter l'augmentation en fonction du temps, sur une base de plusieurs jours, des masses polluantes accumulées et mobilisables, certains [SERVAT E., 1987] proposent des fonctions linéaires croissan-

tes, la plupart des auteurs considérant que l'on tend rapidement vers une asymptote, qui pourrait être atteinte au bout d'une dizaine de jours [BERTRAND-KRAJEWSKI, 1992] [BUJON G., 1988].

Les mécanismes de la régulation en jeu ne sont pas encore vraiment expliqués. Il semble cependant que sur d'assez longues périodes les masses entraînées soient relativement stables, ce qui peut exclure des pertes et plutôt orienter les soupçons vers des difficultés de mobilisation (du fait d'augmentations de cohésion avec les supports, d'agglomérations,...).

4.1.4. Transferts et évolution dans le réseau

4.1.4.1. Les diverses contributions

Dans les réseaux strictement séparatifs (qui sont, du moins pour les réseaux pluviaux, plus souvent un idéal qu'une réalité), les pertes ou les apports de pollution dans le réseau ne peuvent être liés qu'à des sédimentations ou des remises en mouvement de particules déposées à l'occasion de pluies précédentes ou après intrusion par les bouches-avaloirs par temps sec, accidentellement ou non. On reste « entre soi », il s'agit toujours d'apports de surface. Dans les réseaux unitaires (ou pas très strictement séparatifs), il convient de prendre en compte deux autres types de contributions :

- l'apport des eaux usées domestiques et industrielles reçues par le réseau pendant le ruissellement ou qui y étaient à son début. Il peut être évalué assez directement à partir de la connaissance des débits correspondants et de la qualité des eaux de temps sec (en prenant en compte d'éventuelles décan-tations se produisant par temps sec et non par temps de pluie) ;
- la remise en mouvement des dépôts accumulés dans le réseau.

Sur une base annuelle et avec des hypothèses hardies mais permettant d'utiliser les données disponibles issues de séries de mesures sur des bassins strictement pluviaux et unitaires, [CHEBBO G., 1992] a proposé les proportions apparaissant dans le tableau 4.2.

Pour les pluies moyennes à fortes, la part des eaux usées domestiques et industrielles devient négligeable, par contre celle des dépôts peut atteindre, en MES, de 30 % à 45 %, cette contribution-ci apparaissant très organique, d'après les évaluations de [BACHOC A., 1992].

4.1.4.2. La description des fonctions de transfert

[SIMON L. et al., 1992]

Comme pour l'entraînement en surface, les matières dissoutes sont en fait véhiculées par l'eau et n'impliquent pas *a priori* de traitement particulier dans les modèles. L'originalité des modèles vient de la manière dont ils tentent de prendre en

compte la matière particulaire. Nous nous limiterons donc à ces aspects dans cette description rapide, qui emprunte beaucoup à [SIMON L. et al., 1992], comme les chapitres 4.2 et 4.3 ci-après. De plus, les descriptions des phénomènes hydrauliques ne seront pas rappelées ici.

Le transport solide a été étudié de longue date en rivière, et tout naturellement des transferts ont été appliqués entre les deux milieux. Cependant, ces transferts se sont opérés parfois trop rapidement, sans une réelle réflexion sur les caractéristiques spécifiques des réseaux d'assainissement (particules de très petite taille, dotées d'une certaine cohésion, suspensions « de temps sec » différentes de celles « de temps de pluie », forme des canalisations, caractère transitoire des écoulements,...). La difficulté de la collecte de données en réseau, et l'intérêt relativement récent des scientifiques pour une compréhension « à petite échelle » de leur fonctionnement, n'ont pas encore permis d'aboutir à une formulation tout à fait satisfaisante de ces phénomènes. Aussi, les méthodes retenues dans les modèles sont-elles très nombreuses. Ces méthodes se distinguent les unes des autres, d'une part par la façon dont les solides sont décrits, d'autre part par la modélisation de leur transport, notamment par la prise en compte (ou non) de différents types de transport (suspension et charriage). Les modèles en réseau d'assainissement négligent généralement le transport par charriage (i.e. se produisant par glissement ou saltation sur le fond).

Les formulations les plus utilisées pour le transport sont les suivantes :

- critère de Shields (SWMM) qui calcule un diamètre critique D_c en fonction des caractéristiques de l'écoulement. Toutes les particules d'un diamètre supérieur à D_c se déposeront, tandis que celles d'un diamètre inférieur seront entraînées. Ce critère, essentiellement appliqué — en hydraulique fluviale — à la prévision des transitions entre transport par charriage et dépôt, et concernant *a priori* des particules relativement grossières, s'est révélé également satisfaisant dans des grands collecteurs d'assainissement [LAPLACE D., 1991], [BACHOC A., 1992] pour des particules de taille millimétrique. On peut cependant douter de sa validité pour l'estimation des différents états (dépôt, charriage, suspension) de particules plus fines ;
- modèle de Velikanov (FLUPOL) : il s'agit d'un modèle énergétique. On suppose qu'une fraction de l'énergie de l'écoulement est consacrée au maintien des solides en suspension.

Pour un écoulement donné on peut évaluer les concentrations maximale (au-delà, il y a déposition), et minimale (en deçà, il y a érosion) admissibles.

Ce modèle s'adapte à la prise en compte de plusieurs classes de vitesse de chute.

4.2. QUELQUES REMARQUES GENERALES SUR LA MODELISATION ET L'APPROCHE GLOBALE QU'ELLE TRADUIT

[SIMON L. et al, 1992]

Tableau 4.2 : Proportion massique (exprimée en %) de pollution annuelle apportée par les eaux usées, le lessivage des surfaces urbaines et par la remise en suspension des particules en dépôt dans le réseau unitaire.

Source de pollution	Paramètres de pollution				
	MES	DCO	DBO ₅	HC	Pb
Eaux de ruissellement	56	45	23	49	63
Eaux usées	20	33	55	37	9
Dépôt dans le réseau	24	22	22	14	28

Figure 4.1 : Représentation conceptuelle de l'évolution de la qualité des eaux par temps de pluie.

4.2.1. L'intérêt d'acquies une vision globale du cycle urbain des eaux pluviales

Les perspectives de traitement et la mise en œuvre raisonnable de dispositifs de prévention de la pollution urbaine par temps de pluie suppose des progrès, d'une part dans la compréhension des impacts sur le milieu récepteur, d'autre part dans la capacité à prévoir les charges déversées au milieu récepteur.

Tous les sites ne peuvent être instrumentés finement, en particulier quand ils n'existent pas encore ! Dans un objectif de conception et de gestion des systèmes d'assainissement, il apparaît donc tout à fait primordial de pouvoir disposer d'une vision globale du cycle des eaux pluviales en milieu urbain, intégrant tout à la fois ses aspects quantitatifs et qualitatifs, cette vision permettant d'interpréter ou extrapoler les mesures. C'est cette vision que nous nous efforcerons de présenter dans ce qui suit, en décrivant la succession des différents phénomènes régissant la qualité des rejets urbains par temps de pluie. La généralisation de cette description sera nécessairement une idéalisation et correspondra en fait à une analyse du système à étudier en procédant étape par étape, pour décrire les phénomènes sous la forme de relations quantitatives.

Ces relations constituent la première étape de l'élaboration d'un modèle mathématique.

Comme généralement dans l'étude du milieu naturel, la modélisation constitue un outil pouvant apporter une aide dans deux directions :

- l'amélioration des connaissances que l'on a d'un système,
- la gestion du système (concevoir des améliorations, prévoir et contrôler).

Les modèles de la première catégorie sont en fait des modèles de recherche, sorte de laboratoires numériques, avec lesquels on cherchera à vérifier différentes hypothèses de fonctionnement du milieu.

La seconde catégorie de modèles a pour objectif de proposer au gestionnaire, dans le cas d'un réseau existant ou à aménager, un outil qui pourra l'aider dans la compréhension des réactions de son système dans certaines conditions, et à évaluer l'impact de certains événements pluvieux. Dans le cas d'un réseau en cours de conception ou de planification, le modèle utilisé en mode prédictif pourra permettre de comparer différentes solutions techniques, sur le plan des quantités rejetées sur un événement pluvieux et sur des périodes plus longues (une année par exemple).

Il importe de rappeler qu'un modèle ne doit être considéré que comme un outil ; en particulier, l'existence d'un modèle n'évitera jamais la collecte de données et de mesures sur site, compte tenu des nécessaires opérations de calage et de validation de l'outil. Cette remarque est importante pour le domaine des réseaux d'assainissement, où il y a eu fréquemment développement d'outils de gestion, utilisant parfois des formulations hasardeuses, en tout cas rarement vérifiées in situ.

4.2.2. Pour la description du système

Nous nous intéresserons ici à la description des phénomènes liés à un événement pluvieux. Les modèles travaillant sur de longues périodes doivent être considérés comme une suite d'événements pluvieux individuels, entrecoupés de durées de temps sec de longueurs variables. Le système que l'on va chercher à décrire peut être caractérisé par la multiplicité des milieux qu'il intègre et par la multiplicité des échelles de temps et d'espace qu'il doit prendre en compte. Là se situe une des principales difficultés de ces modèles et la source de la nécessité, qui apparaît ensuite, d'introduire des formulations empiriques dans la description d'un certain nombre de relations.

4.2.2.1. Multiplicité des milieux

Le système à décrire doit permettre de suivre le cycle urbain d'une goutte d'eau, en terme de cinétiques, depuis la traversée

des basses couches atmosphériques, jusqu'à son arrivée dans le milieu récepteur, ainsi que les différentes interactions (physiques, physico-chimiques, voire biologiques) de cette goutte d'eau avec les différents milieux traversés. Ainsi, principalement, on devra traduire le comportement de l'eau sur le bassin versant du point de vue hydraulique (transformation pluie-débit) et du point de vue des échanges avec les polluants déposés sur le sol, puis le transport, les échanges et les mélanges en réseau d'assainissement. Compte tenu de la part prépondérante des matières particulaires dans la pollution rejetée au milieu naturel, la description de leur comportement sera essentielle.

4.2.2.2. Multiplicité des échelles

En liaison avec les différents milieux traversés, mentionnés ci-dessus, différentes échelles de temps et d'espace apparaissent dans la description des phénomènes :

- échelles d'espace : elles vont d'un milieu à deux dimensions que constitue le bassin versant, souvent pris en compte globalement, par unités de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares, jusqu'à la particule de quelques microns en suspension au sein de l'écoulement, en passant par la dimension linéaire des réseaux ;

- échelles de temps : elles varient de plusieurs jours ou plusieurs dizaines de jours, qui correspondent aux durées de temps sec qui précèdent l'événement pluvieux, à la minute ou à la dizaine de minutes caractéristiques de la pluie et des débits qui en résultent, voire moins si l'on intègre des cinétiques intéressantes par exemple des métaux lourds dont certaines fractions peuvent s'échanger rapidement entre phases dissoute et particulaire.

La description globale du système constitue un exercice très complexe, qu'il importe d'essayer de simplifier. La première des démarches consistera à préciser les variables d'état du système, et ensuite à décomposer ce dernier en deux sous-systèmes :

- le sous-système hydraulique qui correspond à la description des phénomènes liés au transport de l'eau. Ce sous-système est dominant, car il détermine l'autre, l'inverse n'étant pas vrai. C'est un sous-système relativement bien connu, et déjà abondamment modélisé, sur lequel nous ne revenons pas ;

- le sous-système qualité qui correspond à la description des variables et des phénomènes décrivant la qualité des eaux. Son comportement dépendra de celui du sous-système hydraulique.

4.2.3. Les variables d'état du sous-système de qualité

Un premier type de variable d'état sera constitué par les matières en suspensions (MES), dont le rôle de vecteur de pollution a déjà été largement souligné. D'autres descripteurs de la pollution comme la DBO et la DCO sont aussi d'un intérêt certain pour évaluer l'impact de rejets sur le milieu récepteur. On prendra en compte généralement la somme d'une fraction dissoute et d'une fraction liée aux MES ; toutefois, certains auteurs ne prennent en compte que la fraction particulaire. On considère aussi parfois les nutriments (N_{total} et P_{total}) ; selon les auteurs, ces espèces sont considérées soit entièrement sous forme particulaire, soit comme une pondération entre une fraction particulaire et une fraction dissoute.

4.3. TYPOLOGIE DES MODÉLISATIONS DES REJETS URBAINS PAR TEMPS DE PLUIE

[SIMON L. et al., 1992]

Classiquement, deux grandes catégories de modèles existent dans la modélisation des rejets urbains par temps de pluie : les modèles statistiques et les modèles déterministes. La première catégorie a pour objectif de décrire statistiquement les variables,

d'entrée ou de sortie, mesurées sur un site. Ces modèles présentent l'avantage de pouvoir mettre en évidence des relations et de pouvoir les quantifier, éventuellement en terme de probabilité. Ils ont pour inconvénients de ne pas avoir de caractère général, c'est-à-dire que le domaine d'application des relations obtenues sur un site reste souvent limité à ce site. Néanmoins, ils constituent souvent une étape préliminaire à l'élaboration d'outils déterministes en permettant de mettre en évidence les variables pertinentes.

4.3.1. Classification suivant la modélisation du cycle de l'eau

Deux types de mécanismes sont différenciés : le premier intéresse le bassin versant et concerne la transformation pluie-débit, le second les écoulements en réseau. Il y correspond deux types de modélisation :

- les modèles hydrologiques, pour lesquels le bassin versant et le réseau d'assainissement qui le draine ne forment qu'une seule entité : ils ne cherchent à décrire ni la géométrie du réseau, ni son écoulement, mais considèrent une seule fonction de transfert entre la pluie et l'exutoire du bassin versant. Cette approche présente l'inconvénient de ne décrire que très globalement, et implicitement, ce qui se passe dans le réseau ;

- les modèles hydrologiques et hydrodynamiques, catégorie la plus répandue, distinguent le fonctionnement de chaque bassin ou sous-bassin, avec la transformation pluie-débit qui s'y opère, et le fonctionnement hydraulique dans le réseau (à l'aval de ces sous-bassins), sur lequel de nombreux modèles d'écoulement plus ou moins complexes peuvent être appliqués. Ces modèles nécessitent une excellente connaissance a priori de celui-ci et reposent sur la résolution d'équations développées pour des écoulements graduellement variés tandis que les écoulements en réseau peuvent être rapidement variés. De même, le traitement des singularités relève de lois de comportement empiriques, plus ou moins bien calées et validées. Or, ces singularités semblent jouer un rôle important dans la dynamique des solides.

4.3.2. Classification suivant la modélisation de la qualité

La représentation conceptuelle de l'évolution de la qualité de l'eau au cours de son parcours en zone urbaine est schématisée par la figure 4.1 donnée ci-après, d'après [GAUME, 1992]. Sur la base de cette représentation, trois grands types de modèles se dégagent :

- les modèles à concentration constante : on suppose, dans ces modèles, que toutes les variables d'état de la qualité de l'eau sont transportées à concentration constante par l'écoulement. Il s'agit donc de modèles d'advection de polluants ;

- les modèles calculant un pollutogramme sur chaque sous-bassin : ces modèles mettent en œuvre des formulations d'accumulation et de mobilisation des polluants, principalement des solides, sur les bassins et sous-bassins étudiés. Les complexités des formulations sont variables, mais elles introduisent environ une dizaine de paramètres à caler ;

- les modèles avec transport solide : ces outils utilisent des formulations du transport solide dans les réseaux.

Cette classification n'est pas étrangère à une classification par objectif. Il apparaît en effet que les modèles simples du premier type se prêteront bien à des simulations de longue durée, dont l'objectif par exemple peut être la prédiction de flux annuels, ou l'évaluation des conséquences d'un aménagement pour une série d'événements variés. Les autres, plus lourds mais aussi plus riches, seront plus adaptés à une simulation événementielle.

4.3.3. Typologie résultante et conclusions

Sur la base de cette double caractérisation, nous pouvons

proposer une typologie (voir figure 4.2) pour les modèles de qualité des rejets urbains par temps de pluie. Cette typologie appelle plusieurs remarques :

Figure 4.2 : Typologie des logiciels existants.

— pratiquement toutes les cases de ce tableau sont occupées. Il ne semble donc pas exister de relation entre la complexité de la modélisation du débit et celle de la qualité ;

— il n'apparaît pas non plus, dans cette représentation, d'évolution chronologique visible dans une direction. Ceci est évidemment en liaison avec les objectifs de ces outils qui ne sont pas pris en compte dans cette classification. On peut aussi penser qu'un tel éparpillement montre qu'il n'existe pas, à l'heure actuelle, de consensus sur le type de modélisation à adopter, et que plusieurs voies sont encore en cours d'exploration.

4.3.4. Conclusions

Les outils que nous avons présentés et les formulations utilisées peuvent laisser le lecteur quelque peu sceptique sur leurs possibilités d'utilisation. Après un démarrage rapide dans les années 70, en liaison avec la progression de l'informatique et l'enthousiasme pour ce nouvel outil, un ralentissement dans le développement de ces modèles s'est produit. Force est de constater que peu de connaissances nouvelles ont été intégrées dans les outils de modélisation. On peut leur reprocher plus ou moins la même chose :

— une description hydraulique qui néglige ou minimise le rôle des singularités. Schématiquement, on peut dire que ces singularités conditionnent la pollution rejetée au milieu récepteur de deux façons. D'une part, leur présence permet potentiellement le développement de gisements de MES riches en matières organiques, gisements susceptibles d'apporter une contribution majeure à la charge polluante des écoulements de temps de pluie. D'autre part, le fonctionnement des déversoirs d'orage « régule » les débits et volumes déversés. Il est essentiel de pouvoir reproduire ces paramètres clés avec une précision acceptable. La prise en compte de ces singularités risque d'être difficile. Tout d'abord, quantifier leur rôle plus précisément implique probablement des recherches assez fondamentales en Mécanique des Fluides. A supposer que ces recherches sur un phénomène local débouchent, comment pourra-t-on en tenir

compte dans une description des réseaux d'assainissement qui doit présenter un certain degré d'intégration spatiale, sans risquer d'alourdir des modèles déjà lourds ?

— une description souvent inexacte des solides, de leur rôle de vecteur de polluants, et de leurs caractéristiques physiques (granulométrie, vitesses de chute,...) ;

— l'utilisation de formulations de transport solide dont rien n'assure que la transposition en réseau d'assainissement soit valide. Ces formulations ont été le plus souvent développées en régime permanent, pour des matériaux de granulométrie uniforme, non cohésifs, généralement beaucoup plus grossiers que ce qu'on rencontre en réseau ;

— l'absence d'une validation menée par sous-système représenté.

En se basant sur de nouveaux plans d'expérience en réseaux d'assainissement, il importe maintenant d'améliorer le contenu scientifique de ces modèles, en réfléchissant, en particulier, sur la signification des représentations conceptuelles qu'ils contiennent, et en intégrant les nouvelles connaissances acquises.

Cette réflexion doit être menée en parallèle avec une réflexion sur les objectifs des modèles : de quelles informations a-t-on réellement besoin pour prévoir l'impact sur le milieu récepteur et concevoir ou gérer des dispositifs de dépollution ? De même, est-il pertinent de construire des modèles très complexes pour décrire des pollutogrammes que la mesure ne peut appréhender que par quelques points ? A quoi sert un outil qu'on ne peut valider ?

Malgré toutes ces remarques négatives, il n'en reste pas moins intéressant d'utiliser ces outils de modélisation de manière opérationnelle. Même imparfaits, ils permettent, sous réserve d'un calage soigneux, d'avoir accès aux ordres de grandeur des flux rejetés au milieu récepteur et peuvent fournir un éclairage sur le fonctionnement d'un réseau donné (importance relative des différents bassins versants ou déversoirs, par exemple). Ces éléments d'information sont les premières bases d'une politique de protection du milieu récepteur. Leur emploi doit donc être encouragé, à condition de poser un regard critique sur les résultats. Par ailleurs, c'est aussi en les utilisant qu'on pourra mettre en évidence les défauts des modèles et espérer les corriger.

5. INTERETS A DIVERS TITRES DES COMMUNICATIONS DE LA SESSION

Chacune des interventions présentée est intéressante souvent à plus d'un titre. Sans chercher à être exhaustifs nous pouvons, pour mobiliser les attentions, classer les communications en catégories de rattachement partiel :

— pour les mesures :

• de flux de paramètres de pollution « classiques » (habituellement utilisés pour la mesure de pollution des eaux usées de temps sec) : nous nous référons à PAFFONI (SIAAP-SERME), VERBANCK (Université Libre de BRUXELLES), HERREMANS et al. (ANJOU-Recherche et C.G.E),

• de flux de paramètres plus spécifiques en particulier les micro-polluants : HERMANN et al. (Université de BAYREUTH), BRIAT (Lyonnaise des Eaux-Dumez), DUCREUX et al. (Institut Français du Pétrole),

• par des méthodes nouvelles : VERBANCK (Université Libre de BRUXELLES), GRANGE (Laboratoire Régional de l'Ouest-Parisien) ;

— pour la description et la modélisation des processus : en utilisant les modèles déjà « classiques » (développés au cours des années 1970 et 1980) pour évaluer des flux rejetés : GOURDET (SAUNIER Eau-et-Environnement), HERREMANS et al. (ANJOU-Recherche et C.G.E),

USINE DE CLICHY

- en proposant des éléments pour une nouvelle génération de modèles : BERTRAND-KRAJEWSKI (C.I.R.S.E.E.), HERMANN et al. (Université de BAYREUTH),
- en cadrant les caractéristiques des modèles dont on a besoin et que l'on peut développer : B. TASSIN et al. (CERGRENE-ENPC/ENGREF).

BIBLIOGRAPHIE

- ARTIERES O., 1987 — Les dépôts en réseaux d'assainissement unitaires. Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, ENITRTS, Strasbourg, 214 pages.
- BACHOC A., 1992 — Transfert des solides en réseaux d'assainissement unitaire. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse — Spécialité : Physique et Chimie de l'Environnement, 281 pages + annexes.
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., 1992 — Modélisation conceptuelle du transport solide en réseau d'assainissement unitaire. Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, ENITRTS, Strasbourg, 197 pages.
- BUJON G., 1988 — Prédiction des débits et des flux polluants transités par les réseaux d'égouts par temps de pluie : le modèle FLUPOL. La Houille Blanche, n° 1/1988, 23 pages.
- CHEBBO G., 1992 — Solides des rejets pluviaux urbains — Caractérisation et traitabilité. Thèse de doctorat de l'ENPC — Spécialité : Sciences de l'Environnement, 410 pages + annexes.
- CHOPARD P., PAITRY A., 1986 — Dépollution des eaux pluviales : étude préliminaire à la restructuration du bassin de rétention des Brouillards à Dugny. Rapport d'étude SIAAP / AFBSN / Département de Seine-Saint-Denis, 122 pages + annexes.
- COTTET J., 1980 — La pollution des eaux pluviales en zone urbaine. Travail de fin d'études ENPC effectué à l'Agence de Bassin Seine-Normandie, 135 pages.
- DESBORDES M., HEMAIN J.C., 1990 — Further research needs for impact estimates of urban storm water pollution. Water Science and Technology, Vol.22, n° 10/11, pp. 9-14.
- DEUTSCH J.C. et al., 1982 — Caractérisation de la pollution des eaux de ruissellement par temps de pluie, SHF — XVIIe Journées de l'Hydraulique, Nantes, septembre 1982 (question II, Rapport n° 1, 8 pages).
- 'GAUME E., 1992 — Description détaillée de quelques modèles de calcul de pollution dans les réseaux d'assainissement. Rapport CERGRENE pour le compte de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.
- HEMAIN J.C., 1987 — Reliability of regression equations in predicting pollutant annual loads. Proceedings of the IVth ICUSD, Lausanne, IAHR-IAWPRC, pp. 220-221.
- HERMANN R., KARI G., 1990 — Grain size dependant transport of non-polar organic trace pollutants (PAH, PCB) by suspended sediments during urban storm runoff. Proceeding of the Vth ICUSD, Suita, Osaka, 23-27 July, pp. 499-503.
- LAPLACE D., 1991 — Dynamique des dépôts en collecteurs d'assainissement. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse — Spécialité : Mécanique des Fluides, 201 pages + annexes.
- MARSALEK J., 1985 — Toxic contaminants in urban runoff : a case study. Urban runoff pollution : NATO ASI series, Torno H.C., marsalek J. and Desbordes M. editors, pp. 39-57.
- PAITRY A., 1987 — La Molette : décantabilité des eaux de ruissellement, les surverses des réseaux unitaires. Rapport d'étude SIAAP / AFBSN / Département de Seine-Saint-Denis, 64 pages + annexes.
- PHILIPPE J.P., RANCHET J., 1987 — Pollution des eaux de ruissellement pluvial en zone urbaine : synthèse des mesures sur 10 bassins versants en région parisienne. Rapport de recherche des Labo. Ponts-et-Chaussées, n° 142, 70 pages.
- SERVAT E., 1987 — Contribution à l'étude des matières en suspension du ruissellement pluvial à l'échelle d'un petit bassin versant urbain. Thèse de doctorat de l'Université des Sciences et Techniques de Montpellier — Spécialité : Génie Civil, Aménagement, 136 pages + annexes.
- SIMON L., TASSIN B., CHEBBO G., GAUME E., 1992 — Les rejets urbains par temps de pluie : caractérisation, modélisation, traitabilité. Support de cours ENPC et ENITRTS, 50 pages.
- TRABUC P., et le groupe de projet sur la pollution apportée par les rejets urbains par temps de pluie, 1989 — Note de synthèse du 22 mars.
- VALIRON F., TABUCHI J.P., 1992 — Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie : état de l'art. Agence de l'Eau Seine-Normandie / AGHTM, Librairie LAVOISIER, Tech. et Doc., 564 pages.
- VIGNOLES M., 1991 — Données qualitatives et quantitatives concernant les sédiments contenus dans les eaux de ruissellement à leur entrée dans le réseau. Recueil des conférences du 71e congrès de l'AGHTM à Annecy, 15-19 avril, pp. 653-667.